

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА

М.С. Барабаш, М.А. Ромашикина

Национальный авиационный университет, г. Киев, УКРАИНА

АННОТАЦИЯ: В статье рассматривается вопрос влияния реологических свойств бетона на усилия, возникающие в несущих конструктивных элементах многоэтажного здания. Цель теоретических исследований состоит в разработке метода учета влияния ползучести на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций при проектировании. Представлен алгоритм расчета конструкций с учетом ползучести бетона. Приведены некоторые результаты нелинейного расчета с учетом ползучести во времени, полученные при помощи ПК ЛИРА-САПР.

Ключевые слова: моделирование, ползучесть бетона, несущие конструкции, напряженно-деформированное состояние, надежность строительных конструкций

ALGORITHM FOR SIMULATION AND CALCULATION OF STRUCTURES SUBJECT TO CREEP OF CONCRETE

Maria S. Barabash, Marina A. Romashkina

National Aviation University, Kiev, UKRAINE

ABSTRACT: The paper considers influence of rheological properties of concrete on the efforts arising in load-bearing structural elements of multistory building. The purpose of theoretical research is to develop a method for account of creep in the stress-strain state of load-bearing structures. The paper outlines calculation algorithm for structures subject to creep of concrete. Nonlinear analysis results with account of creep in time obtained in LIRA- SAPR program are presented.

Key words: modeling, creep of concrete, load-bearing structures, stress-strain state, reliability of building constructions

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в связи с интенсивным развитием строительства зданий и сооружений из монолитного железобетона и сборно-монолитных железобетонных конструкций, возрастает необходимость прогнозирования величины ползучести бетона железобетонных конструкций. При этом проблема безопасности и повышения надежности приобретает первоочередное значение. Современное законодательство и нормативные документы в строительстве регламентируют высокий уровень безопасности зданий и сооружений с высоким уровнем ответственности [1-3].

Повреждения зданий и сооружений с высоким уровнем ответственности могут привести к катастрофическим последствиям, поэтому повышению надежности, безопасности сооружений на основе разработки новых методов расчета и проектирования с учетом реальных свойств материалов, а именно ползучести железобетона, имеет важное практическое значение. Надежность и долговечность железобетонных конструкций не может быть обеспечена без учета важных особенностей деформирования бетона.

Анализ публикаций. Данная проблема рассматривалась многими исследователями,

в том числе в работах Н. И. Безухова [4], Л. М. Качанова [5], Н. Н. Малинина [6], И. Е. Многочисленные экспериментальные исследования, проведенные отечественными и зарубежными учеными, показали, что в бетонных и железобетонных конструкциях, находящихся под длительным действием нагрузок, возникают неупругие деформации, которые могут превышать начальные, мгновенные (упругие) деформации. Как показывают многолетние наблюдения за состоянием эксплуатирующихся конструкций, практически в любой монолитной железобетонной конструкции могут быть обнаружены трещины различных размеров, приводящие к снижению их долговечности [11]. В связи с этим исследователи многих стран продолжают изучать влияние различных факторов на величину усадки бетона и железобетона и разрабатывать уточняющие методики расчета их значений на стадии проектирования конструктивных систем зданий и сооружений. Поэтому вопрос прогнозирования длительного деформирования бетона во времени и связанного с этим перераспределением усилий между бетоном и арматурой является актуальным и имеет важное практическое значение. От правильного учета этих особенностей бетона и железобетона при проектировании зависит надежность и долговечность сооружений, а также соответствие сооружения предъявляемым к нему требованиям. Анализ методов оценки деформаций ползучести бетона представлен в работах [11-16]. Из этого анализа можно сделать вывод о том, что в настоящее время нет единства во взглядах и в методах расчета конструкций с учетом ползучести бетона и железобетона, причем как на стадии расчета железобетонных конструкций, так и на стадии проектирования.

Цель данной работы является разработка алгоритма моделирования нелинейных

Прокоповича [7], Ю. Г. Работнова [8], В. Д. Харлаба [9], В. В. Тур [10] и других авторов. процессов ползучести бетона согласно EuroCode prEN 1992-1-1.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В Eurocode 2: prEN 1992-1-1 [17] предложен метод расчета ползучести бетона и железобетона при учете влажности окружающей среды, размеров элемента и структуры бетона, возраста бетона с момента приложения нагрузки впервые, ее продолжительность и ускорение нагружения. Как известно, работа железобетонных конструкций носит нелинейный характер. Для выполнения нелинейного расчета [16] в ПК ЛИРА САПР, с учетом степенного закона ползучести во времени, необходимо предварительно вычислить коэффициент ползучести φ_0 и коэффициент β_n , которые зависят от относительной влажности (RH в %) и условного размера сечения (h_0 в мм). Коэффициент ползучести во времени $\varphi(T)$ определяется по формуле:

$$\varphi(T) = \varphi_0 \left(\frac{T}{T + \beta_n} \right)^{0.3}, \quad (1)$$

где T – количество суток (возраст бетона), по прошествии которых требуется учесть влияние ползучести.

Если не требуется большая точность, определение коэффициента ползучести φ_0 и коэффициента β_n производится при помощи схем (рис. 1). Также в качестве предельной характеристики ползучести $\varphi(\infty, t_0)$ может быть принято значение от 0.95, при условии, что бетон в момент времени, соответствующий приложению нагрузки, $t = t_0$, не подвергается сжимающим напряжениям, большим, чем $0,45f_{ck}(t_0)$, где f_{ck} – характеристическая цилиндрическая прочность бетона на сжатие в возрасте 28 сут.

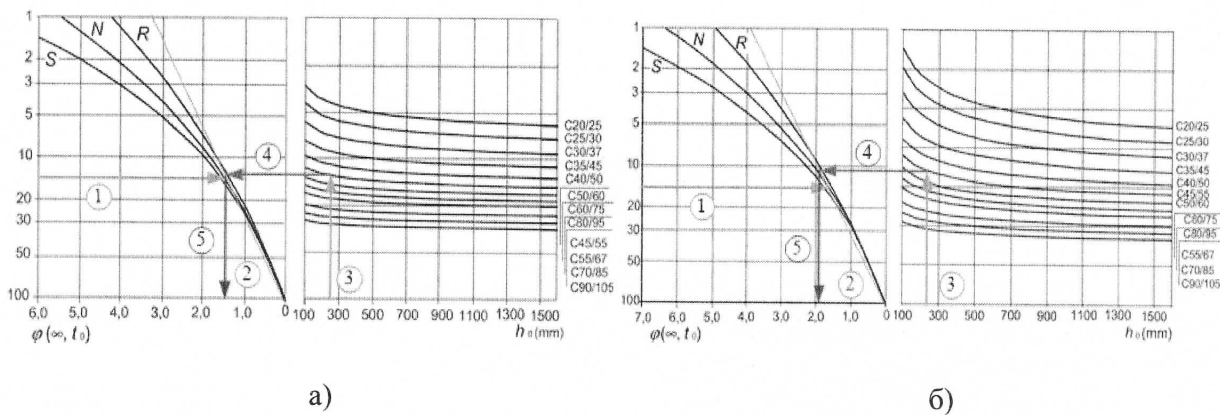


Рисунок 1. Определение коэффициента ползучести для прямоугольной балки сечением (40x60 см) изготовленной из бетона класса C45, N в нормальных условиях эксплуатации: а) внутренние условия – RH=50%; б) внутренние условия – RH=80%.

На рис. 2 представлен алгоритм точного вычисления коэффициента ползучести для бетона φ_0 и коэффициента β_N .

В разработанных алгоритмах учет ползучести реализован на основе модифицированной теории старения согласно которой касательный (тангенциальный) модуль упругости зависит от начального модуля упругости E_{cm} , относительной влажности среды RH, времени эксплуатации t и напряжения в бетоне σ :

$$E_c = f(E_{cm}, RH, t, \sigma), \quad (2)$$

Эту зависимость можно выразить с помощью коэффициента ползучести $\varphi(t, t_0)$:

$$E_c = \frac{E_{cm}}{\varphi(t, t_0)}, \quad (3)$$

На ползучесть и усадку бетона также оказывает влияние геометрические размеры конструктивного элемента и состав бетона, степень зрелости бетона (начальная прочность) при первоначальном приложении нагрузки, а также продолжительность нагружения и величина нагрузки. Коэффициент ползучести $\varphi(t, t_0)$ связан с касательным (тангенциальным) модулем

упругости E_c , который может быть принят равным $1,05E_{cm}$. ($E_c = 1.05 E_{cm}$), где E_{cm} – модуль деформации.

Предлагается следующая методика расчета конструкций в ПК ЛИРА САПР с учетом ползучести бетона [15]:

- выполняется расчет в линейной постановке на все виды нагружений (статические, силовые, статические деформационные, динамические);
- определяются расчетные сочетания усилий или расчетные сочетания нагружений;
- выполняется подбор арматуры в сечениях стержневых или пластинчатых элементов;
- производится унификация армирования элементов;
- по результатам армирования формируются новые жесткостные характеристики конструктивных элементов для последующего нелинейного расчета;
- задаются параметры ползучести бетона, учитывающие влажность и усадку бетона;
- назначается нагружение, на которое будет производиться расчет с учетом ползучести бетона;
- выполняется расчет для заданных промежутков времени.

Алгоритм моделирования и расчета конструкций с учетом ползучести бетона

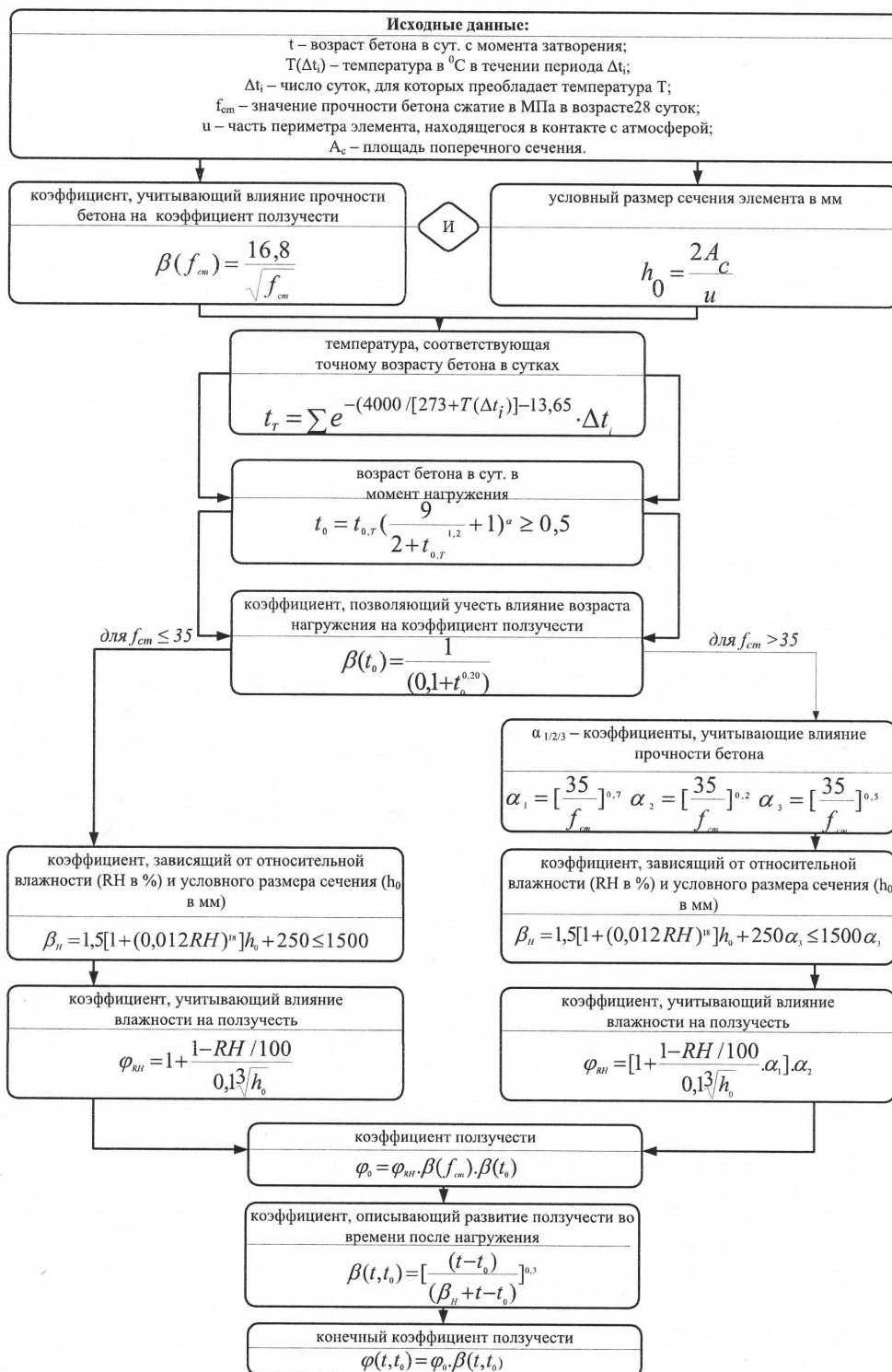


Рисунок 2. Алгоритм вычисления коэффициента ползучести для бетона φ_0 и коэффициента β_H .

На каждом этапе расчета для каждого элемента определяется новая жесткость, которая зависит от напряжения бетона в этом элементе и заданных параметров ползучести. Новые переменные жесткости получаются в точках интегрирования как по сечению, так и по конечному элементу, в соответствии с заданной диаграммой деформирования. На

каждом этапе определяются усилия, перемещения и новые жесткости по касательному модулю деформации для заданного промежутка времени.

На рис. 3 представлена блок-схема описанного алгоритма расчета конструкций с учетом ползучести бетона.

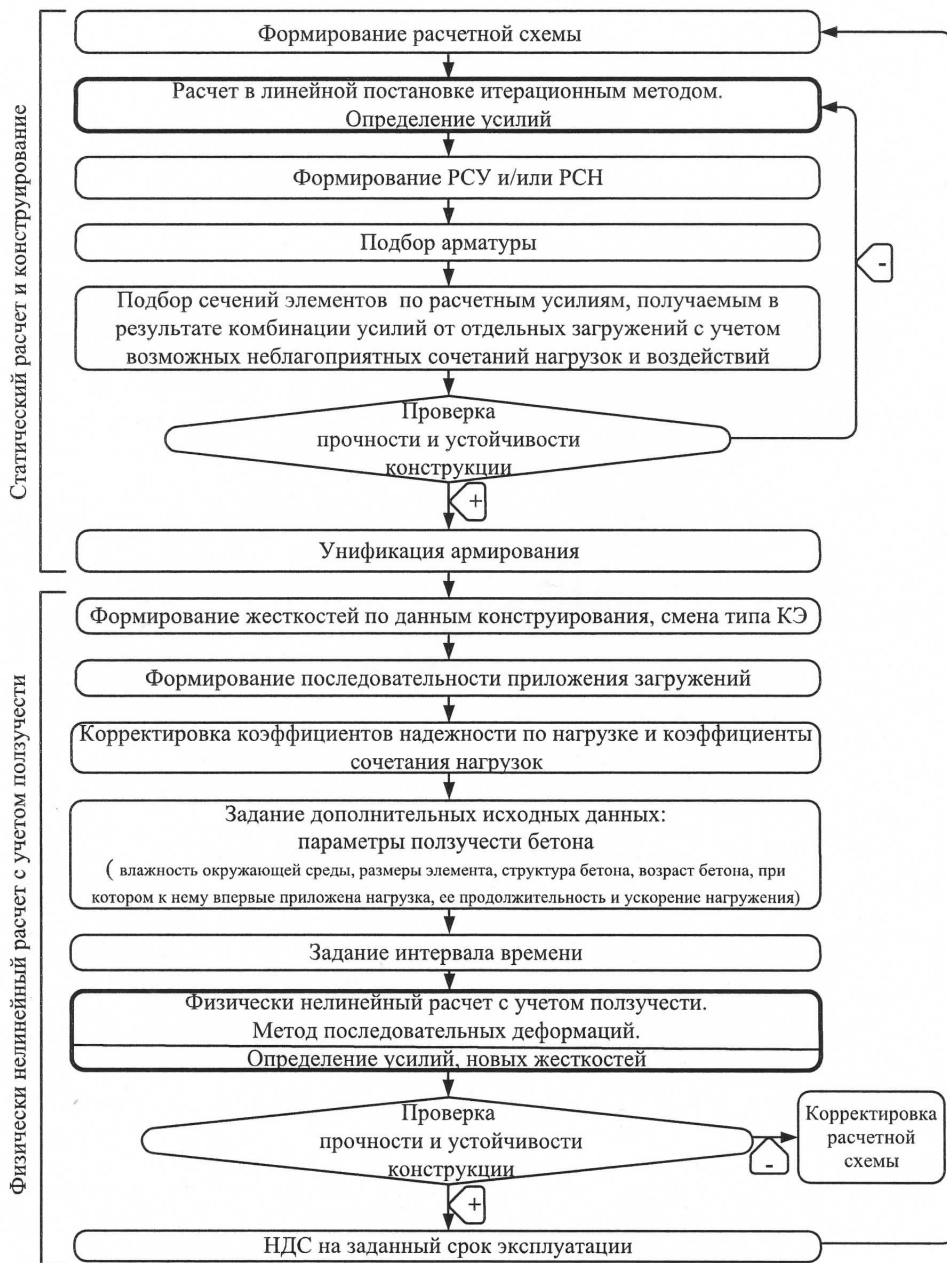


Рисунок 3. Алгоритм расчета конструкций с учетом ползучести бетона.

В качестве примера было рассчитано 9-ти этажное монолитное здание (рис. 4). Получены усилия, перемещения, глубина, ширина раскрытия трещин. Далее приведены некоторые результаты расчета произведенного по приведенной методике. (рис. 5,6), таб. 1.

Раму условно рассмотрим как фрагмент 9-ти этажного монолитного здания. Ригели представляют собой вырезанные полосы перекрытий шириной 6м и толщиной 0,2 м. Колонны имеют прямоугольное сечение 50х50см. Длительная нагрузка на ригель составляет 9 т/м.

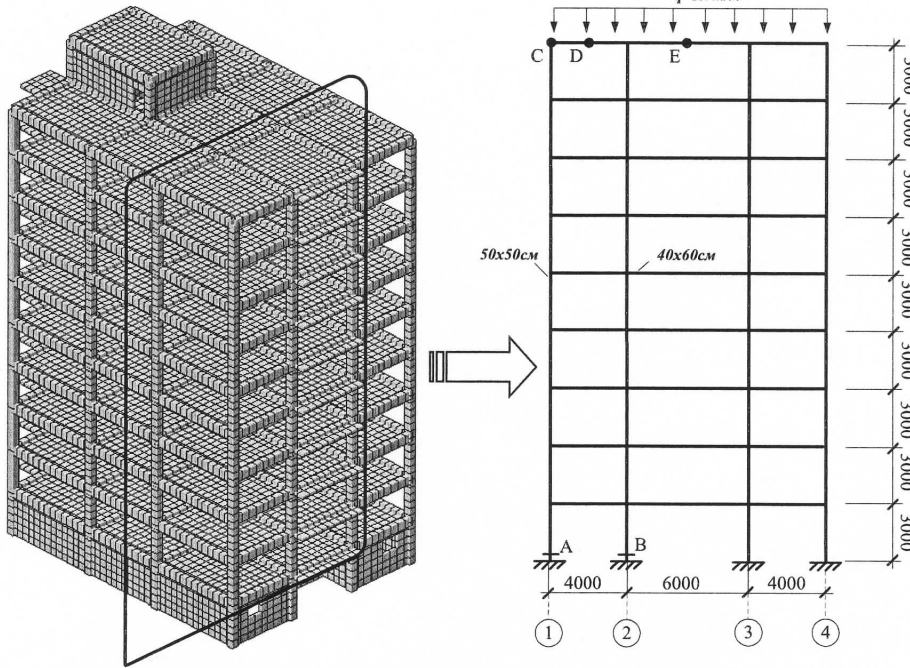


Рисунок 4. Расчетная схема 9-ти этажного монолитного здания

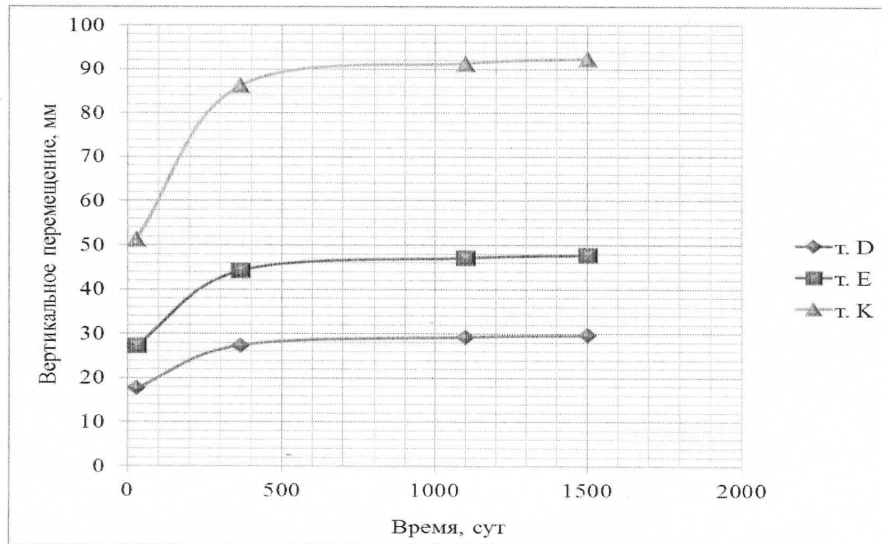


Рисунок 5. График развития во времени величин вертикальных перемещений в многоэтажной раме в точках D, E, K.

Таблица 1

Усилия и перемещения элементов 9-ти этажного дома при упругом и нелинейном расчетах

Параметры напряженно-деформированного состояния	Упругий расчет	Нелинейный расчет с ползучестью			
		28 суток	365 суток	1100 суток	1500 суток
Нормальная сила N в колонна I этажа (ось 1, сечение А), т	-340.26	-323.52	-342.04	-344.35	-344.78
Нормальная сила N в колонне I этажа (ось 2, сечение В), т	-585.7	-602.45	-583.92	-581.62	-581.19
Момент M в ригеле (опорное сечение, т.С), т*м	-13.48	-14.71	-17.92	-18.10	-18.13
Момент M в ригеле (пролетное сечение, т.В), т*м	6.83	7.13	6.21	6.17	6.16
Перемещение (z, т. С), мм	-8.48	-17.67	-27.40	-29.27	-29.65
Перемещение (z, т. В), мм	-11.59	-27.33	-44.21	-47.13	-47.71
Перемещение (z, т. Е), мм	-17.41	-51.27	-86.20	-91.30	-92.29

Анализ результата приведенного в таблице 1 можно судить о некотором перераспределении усилий и значительном увеличении деформаций по сравнению с упругим расчетом. Так нормальная сила в средней наиболее нагруженной колонне - 602.45 т с течением времени уменьшается до -581.19 т перераспределяясь на менее нагруженные крайние колонны. Пролетный момент в ригеле (сечение С) 7.13 т*м так же уменьшается до 6.16 т*м; перераспределяясь на опорное сечение В, момент в котором в свою очередь - увеличивается.

деформативности, может вызвать увеличение усилий;

- в железобетонном элементе при длительном действии нагрузки в результате ползучести бетона происходит перераспределение усилий между бетоном и арматурой;
- конструкции, как правило, включаются в работу до набора бетоном расчетной прочности (как правило, распалубка);
- производится значительно раньше, чем бетон наберет расчетную 28-дневную прочность).

ВЫВОДЫ

На основе полученных результатов можно сделать выводы что, при проектировании необходимо учитывать такие эффекты:

- при длительном действии нагрузки происходит перераспределение усилий между сильно нагруженными элементами (усилия в них уменьшаются) и менее нагруженными (усилия в них увеличиваются);
- ползучесть бетона обуславливает рост перемещений, что, помимо увеличения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету: ГОСТ27751-88 (СТ СЭВ384-87). – [Введен в действие с 1988-07-01]. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 10 с. – (Государственный стандарт Союза ССР).
2. Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий, сооружений строительных конструкций и оснований: ДБН В.1.2-14-2009. – [Введен в действие с 01-12-2009]. – К.: Минрегионстрой Украины, 2009. – 45 с. – (Государственные строительные нормы Украины).
3. Проектирование высотных жилых и гражданских сооружений: ДБН В.2.2-24:2009. – [Введен в

- действие с 01-09-2009]. – К.: Минрегионстрой Украины, 2009. – 103 с. – (Государственные строительные нормы Украины).
4. **Безухов Н.И.** Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.
 5. **Качанов Л.М.** Теория ползучести. – М.: Физматгиз, 1960. – 455 с.
 6. **Малинин Н.Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1986. – 400 с.
 7. **Прокопович И.Е.** Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояние сооружений. – М.: Госстройиздат, 1963. – 260 с.
 8. **Работнов Ю.Н.** Ползучесть элементов конструкций. – М.: Наука, 1966. – 752 с.
 9. **Харлаб В.Д.** К общей линейной теории ползучести. // Известия ВНИИГ, 1961, т. 68, с. 217-240.
 10. **Тур В.В.** Экспериментально-теоритические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона. – Брест: БГТУ, 1998. – 246 с.
 11. **Арутюнян Н.Х.** Ползучесть стареющих материалов. Ползучесть бетона. // Механика теории ползучести бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1962
 12. **Suvorova J. V.** An approach to the description of time – dependent materials. // Materials and Design.- 2003. - № 24 – P. 293—297.
 13. **Барабаш М.С.** Методы моделирования изменения напряженно-деформированного состояния конструкций во времени. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 9, Issue 4, 2013, pp. 92-100.
 14. **Яценко Е.А.** Влияние длительных нагрузок и ползучести бетона на предельные состояния железобетонных конструкций // Бетон и железобетон, 1990, №8, с. 21-22
 15. **Барабаш М.С.** Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства. – Киев: Издательство «Сталь», 2014. – 301 с..
 16. **Городецкий А.С., Евзеров И.Д.** Компьютерные модели конструкций. – Киев: «ФАКТ», 2007. – 394 с.
 17. Eurocode 2: prEN 1992-1-1 «Design of concrete structures - Part 1: General rules and rules for buildings» - Annex B(Informative) Commition of European Communities, Des 1991. P 226
-
- Барабаш Мария Сергеевна – кандидат технических наук, доцент, докторант, доцент кафедры компьютерных технологий строительства Института аэропортов, Национального авиационного университета, 03058, Украина, г. Киев, проспект Космонавта Комарова, д. 1; тел: +8 (095) 286-39-90; e-mail: bmari@ukr.net.
- Ромашкина Марина Андреевна – аспирантка кафедры компьютерных технологий строительства Института аэропортов, Национального авиационного университета, 03058, Украина, г. Киев, проспект Космонавта Комарова, д. 1; тел: +8 (095) 931-52-50; e-mail: mariromashkina@gmail.com.
- Maria Barabash – PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Computer Technology Building, Institute of Airports, National Aviation University, 1, Kosmonavta Komarova, 03058, Kiev, UKRAINE. phone: +8 (095) 286-39-90; e-mail: bmari@ukr.net.
- Marina Romashkina - postgraduate student; Department of Computer Technology Building, Institute of Airports, National Aviation University, 1, Kosmonavta Komarova, 03058, Kiev, UKRAINE. phone: +8 (095) 931-52-50; e-mail: mariromashkina@gmail.com